

## TM31010 계열의 공동이온전리함과 TG-51을 이용한 선형가속기광자선의 5년간 출력선량 평가

계명대학교 의과대학 \*의공학교실, †방사선종양학교실

최태진\* · 김옥배†

방사선의 출력선량계수는 모든 선량계획과 치료선량결정에 영향을 주게 되므로, 정확한 선량평가가 강조되고 있다. 저자들은 물흡수선량을 결정하는 선량프로토콜을 종전의 TG-21에서 TG-51로 전환하여 2007년부터 새로운 버전과 새로운 공동전리함으로 선량을 평가하기 위해 SSDL의  $N_k$ 를  $N_{dw}^{Co-60}$ 로 변환하여 적용하였다, 평가된 물흡수선량계수는 치료선량결정과 RPC의 선량모니터링을 통해 비교되었으며, 선량평가는 2% 이내를 보였지만 불안정성을 확인하게 되었으며, 선량평가과정을 후향적으로 모니터하였다. 점검결과 새 전리함의 교정계수가 -2.8% 낮은 것을 확인하고 PSDL의 물흡수선량교정계수를 구하여 출력선량계수를 구하였으며, 선량평가 결과 2010년부터 안정되었고 지속적으로 1% 이내의 오차를 나타내었다.

중심단어: TG-51, 물흡수선량교정선량,  $N_{dw}^{Co-60}$ , Output factor, TLD monitor

### 서 론

고에너지광자선의 기준선량은 Co-60 감마선에 교정된 공동전리함과 전위계와 물펜텀을 사용하여 주로 평가하게 된다. 최근 대부분의 선형가속기는 2종류 이상의 광자선과 4 MeV에서 21 MeV에 이르는 전자선을 방출하고 선택조사할 수 있게 발전되어, 표준선원으로 이용할 수 있는 Co-60 감마선을 치료에 이용하는 기관은 더 이상 찾아볼 수 없게 되었다. 이는 선형가속기 광자선의 선량평가지 이용할 수 있는 선량교정과 교차선량검증이 임상에서는 쉽지 않음을 의미하게 된다.

선형가속기의 광자선은 가속관내에서 광속에 근접한 속도로 가속된 펄스류의 전자선속이 에너지에 따라 힘을 달리하게 하는 힘자장을 통해 선별된 전자류가 얇은 텅스텐

합금체와 부딪혀 나오는 저지선들이므로, 에너지스펙트럼은 연속선을 보이게 되므로, 표준선원으로 이용되지 못하는 이유가 되기도 한다. 연속스펙트럼을 가진 고에너지광자선의 조직흡수선량은 열선량계나 화학선량계와 같은 절대선량계로 직접평가할 수 있으나 실험실에서 이루어지며, 임상에서는 비교적 안정적인 원주형 공동이온전리함이 주로 이용되고 있다. 임상에서는 종양치료선량의 5% 이내의 정확성을 갖고 조사되어야 예후 및 좋은 성적을 기대할 수 있게 되므로 선량평가는 이보다 훨씬 더 낮은 오차범위에서 선량이 평가되어야 하며 최근 2% 이내 평가하도록 권장하고 있다.<sup>1,2)</sup>

선량평가 초기에 적용한 공기중 선량으로부터 흡수선량을 구하기 위해 에너지별 흡수선량 변환계수  $C_A$ 를 사용해 왔으나,<sup>3,4)</sup> 이 변수는 전리함의 구조나 전리함벽의 재질에 대한 물리적 특성에 따라 선량값이 변하는 것을 간과했다.

임상에 사용되는 고에너지광자선 선량평가의 1세대 규정서에는 Bragg-Gray 및 Spencer-Attix 공동이론을 적용하여 교정국에서 제공하는 교정계수를 사용하여 흡수선량으로 변환하는 데 오차가  $\pm 3.3\%$ 에 이른다고 ICRU 14에서 밝히고 몇몇 연구자들은 이 오차보다 더 크다고 발표한 바 있다.<sup>3)</sup>

조직내 흡수선량은 공동전리함에 입사된 기체전리로부터

저자들은 한국표준과학연구원의 박사 전 국진님께 어려운 환경 속에서도 교정계수를 지원해주신 데 깊은 감사를 드립니다.

The authors deeply thank for a professor Marilyn Stovall, Ph.D. to support and give me a chance to participate in the postal output comparison program for long years.

이 논문은 2011년 6월 7일 접수하여 2011년 6월 27일 채택되었음.

책임저자 : 최태진, (700-712) 대구시 중구 달성로 56

계명대학교 의과대학 의공학교실

Tel: 053)250-7666, Fax: 053)250-7953

E-mail: tjchoi@dsmc.or.kr

Table 1. The dimensions of ionization chamber TM31010 and N31003 are provided from the manufactures.

Chamber type	Inner radius (cm)	Chamber wall material	Wall thickness (g/cm <sup>2</sup> )	Buildup material/thick (g/cm <sup>2</sup> )	Active volume length	Volume (cc)
TM31010	0.275	PMMA	0.078	PMMA 0.36	0.65	0.125
N31003	0.275	PMMA	0.078	PMMA 0.36	1.65	0.300

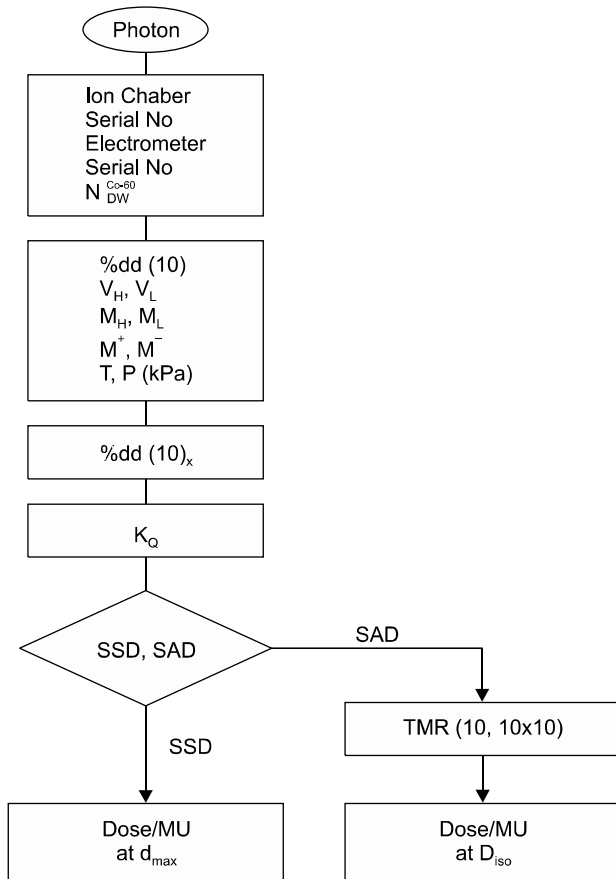


Fig. 1. Flow chart shows the determination of water absorbed dose from exposure calibration factor which can be obtained from an Accredited Dosimetry Calibration Laboratory (ADCL) at time of the <sup>60</sup>Co exposure calibration.

터 Bragg-Gray의 공동이론을 이용한 TG-21 프로토콜(1983)로 구했으나,<sup>5)</sup> 물흡수선량평가 과정이 실제로 복잡하고 오차를 일으킬 단계가 많았다. TG-51은 TG-21에서 전리함의 규격과 형상에 따른 전자의 감쇠산란에 따른 보정단계를 줄여 표준선원에 의한 물흡수선량교정계수를 도입하여 임상에서 방사선에너지에 대한 보정으로 흡수선량을 결정하도록 하였다.<sup>6)</sup>

본연구는 공동이온전리함 TM31010 (PTW사, German)과 TG-51 (AAPM) 선량프로토콜을 사용해서 2007년부터 2011년 현재까지 선형가속기(Oncor, Siemens, German)의 6 MV와 15 MV 광자선에 대한 모니터단위당 물흡수선량을 구하고, MD ANDERSON CANCER CENTER (MDACC)의 Radiological Physics Center (RPC)에서 우수한 열형광선량계에 조사후 반송하여 판독한 결과와 비교하여 선량평가의 안정성과 신뢰성을 확인하였다.

### 재료 및 방법

#### 1. 공동전리함과 우수 열형광선량계

본원의 선형가속기의 출력선량은 UNIDOS전위계(UNIDOS, PTW, German)와 TM31010 (0.125 cc)의 원주형공동전리함과 가로, 세로, 높이가 각각 30 cm인 물팬텀과 TG-51 규정서를 이용하여 물에 흡수된 선량을 평가하고, 정량적으로 300 cGy를 TLD에 조사한 후 반송하여 선량을 평가 비교하였다. 선형가속기(Oncor, Siemens, German)의 6 MV와 15 MV X-선에 대한 출력선량 평가기간은 2007년부터 2011년까지(5년간) 매년 2회 총 9회 비교하였다.

출력선량결정에 이용한 전리함은 모델 TM31010 (PTW, S/N 1055와 1057)이며 규격은 Table 1과 같이 내경 0.55 cm, 벽두께 0.04 cm, 공동길이 0.65 cm이다.

#### 2. 물흡수선량결정

공동전리함을 이용한 물흡수선량은 TM31010에 대해 SSDL에서 제공된 air kerma 교정계수 N<sub>k</sub>로부터 TG-21 프로토콜을 이용하여 물흡수선량교정계수 N<sub>dw</sub><sup>Co-60</sup> 값을 구하였으며, PSDL (한국표준과학연구원)에 의뢰해 제공받은 값과 비교하였다.

선형가속기의 광자선에너지 Q에 대한 출력선량(Gy/MU)은 Fig. 1의 순서도와 같이 준비하였다. 선질변환계수 K<sub>Q</sub>는 공동전리함의 선원쪽 내반경의 0.6 r 지점을 유효선량점으로 정하고 SSD 100 cm에서 기준조사면(10×10 cm<sup>2</sup>)의 깊이 10 cm 위치의 심부선량백분률(%dd(10))로 TG-51프로토콜

의 그래프에서 구하였다.

TG-51 선량프로토콜이 제시한 표나 그래프에서 TM 31010 공동전리함과 동일한 전리함이 없어 Table 1과 같이 동일 제작사의 전리함중 가장 유사한 전리함인 N31003의 벽재질에 대한 산란보정계수  $A_{wall}$ 을 TG-21 프로토콜에 따라 계산하여 해당 전리함의  $K_Q$ 를 적용하였다.

임상의 물흡수선량기준점은 선형가속기(Oncor, Siemens)의 MU 출력선량프로그램 입력시 지정한 기준조사면( $10 \times 10 \text{ cm}^2$ )의 TMR과 일치하기 위해 깊이 10 cm로 정하였다. 모니터선량단위 MU는 선원-전리함거리를 100 cm와 최대 선량깊이의 선량으로 규격화하였으므로 순서도에서 SAD 법을 따라 유효지점 10 cm 깊이의 TMR을 측정하였다.

선량유효점은 에너지별 6 MV X선이나 15 MV X선에서 모두 10 cm 깊이의 물흡수선량을 측정하여 유효점의 선량률을 TMR (r, t 10)로 제하여 최대선량점의 출력선량계수(선량/MU)로 유도하였다.

임상에서 선질Q인 선속의 물흡수선량  $D_{water}^Q$ 는

$$D_{water}^Q = M \cdot N_{dw}^{Co-60} \cdot K_Q \quad (\text{Gy}) \quad (1)$$

와 같이 구할 수 있다. 여기서  $K_Q$ 는 Co-60 표준선원선속의 물흡수선량교정계수를 임상 선질Q 선속의 물흡수선량교정계수로 변환하는 선질변환계수로 광자선이나 전자선에 모두 이용된다. 또한  $M = M_{raw} \cdot P_{ion} \cdot P_{TP} \cdot P_{elec} \cdot P_{pol}$ 로 보정된 값이며, 전리함의 이온재결합과 온도기압보정, 전위계 보정 및 분극효과보정을 각각 의미한다.  $P_{elec}$ 는 전위계와 공동전리함이 동일한 경우 1,000이고 전리함교정시 사용하지 않은 전위계인 경우 교차점검을 통해 별도로 구하여야 한다. 본 연구에서는 전위계와 이온전리함을 일체로 교정하였으므로  $P_{elec}$ 은 1,000을 적용하였다.

선형가속기의 펄스형선속에서 공동전리함의 이온재결합 보정  $P_{ion}$ 은

$$P_{ion} = (1 - V_H/V_L) / (M_{raw}^H/M_{raw}^L - V_H/V_L) \quad (2)$$

로 구하며 대개 1.05 이내의 값을 보이며,  $V_H/V_L$ 의 비가 2일 때 0.2%, 3일 때는 0.3% 의차를 보인다고 TG-51에서 발표되고 있으며, 에너지별 보정계수를 구하였다.

임상에서 물흡수선량  $D_{water}$ 은  $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ 의 수조펜텀을 사용해 SSD법(선원-물표면 거리 100 cm고정)이나 SAD 법(선원-전리함의 유효점거리 100 cm)으로 측정하며, 공동전리함의 유효측정점이 깊이 10 cm가 되도록 하여  $M_{raw}$ 를 얻었다. 출력선량결정에서 일정용적을 지닌 공동전리함내 공기의 밀도는 기압과 기온의 영향에 따라 달라지며 용적

내 입자량은 밀도변화에 따라 변하게 되므로 측정전리량은 기온기압에 대한 보정을 하였다.

기온기압보정계수  $P_{TP}$ 는

$$P_{TP} = (273.15 + T) / (273.15 + T_0) \times P_0 / P \quad (3)$$

과 같다. 여기서  $T_0$ 는 기준온도로 PSDL에서 20°C에 교정한 값을 프로토콜에 따라 22°C의 교정값으로 환산된 것을 나타내며,  $P_0$ 는 기준기압 101.33 kPa을 의미하고 기압계는 현지기압으로 교정되었다. T와 P는 공동전리함의 내부온도와 기압을 각각 나타내며, 전리함은 측정전 수조펜텀 속에서 온도평형을 이루기에 충분한 시간이 필요하며, 수조펜텀은 실온에 가까운 수온을 유지하게 하고 실온과 온도차가 적을수록 오차가 줄어든다.

공동전리함의 중심전극과 벽전극의 분극효과  $P_{pol}$ 에 의한 보정은 에너지마다 다음과 같이 구하였다.

$$P_{pol} = (+M_{raw} - -M_{raw}) / 2M_{raw} \quad (4)$$

여기서  $+M_{raw}$ 와  $-M_{raw}$ 는 중심전극을 “+”와 “-” 극으로 각각 설정했을 때의 판독치이고,  $M_{raw}$ 는 기준 전극의 전리량이다. 전위계의 극을 바꿀 때는 전리함의 판독치가 평형에 도달하기에 충분한 시간이 지난 후 측정하였다.

환부의 매회 분할치료선량은 선형가속기의 정해진 MU를 조사하게 되며 MU는 분할종양치료선량을 모니터단위에 대한 흡수선량의 비로 정의하는 출력선량계수로 나누어 결정된다.

방사선선량평가에는 개인오차와 기기오차가 종합적으로 나타나게 되므로, RPC의 TLD 시료에 본원의 평가선량을 조사 후 반송하여 본원 선형가속기광자선의 지정 에너지의 평가선량에 대한 RPC의 평가선량의 비로 비교하였다. 열형광선량계는 미량(20~30 mg)의 분말체(200 mesh)인 LiF이며 합성플라스틱 캡슐(내경 약 1 mm)에 넣고 전자평형 두께의 Lucite 블록 중앙에 삽입하여 공기중에서 조사된다. TLD에 조사할 모니터단위는 TLD Dose/ (Gy/MU)로 정하였다. 특히 평가의 비가 1.00 인 경우 시험기관의 선량평가가 매우 정확하게 평가하고 있는 것을 의미하며, 1.00보다 낮은 값은 본원에서 기준출력선량을 높게 평가하는 것이며, 1.00보다 높은 경우는 반대로 출력선량을 낮게 평가하는 것이 된다.

## 결 과

선형가속기의 출력선량을 측정한 공동전리조는 TM310

10 계열의 S/N 1055와 1057이며, Table 2와 같이 SSDL에서 제공된 air kerma 교정계수  $N_k$ 로부터 구한  $N_{dw}^{Co-60}$  값은 각각  $2.994 \times 10^8$  Gy/C와  $2.931 \times 10^8$  Gy/C이다. 저자들은 RPC의 출력선량모니터링에서 2% 이내의 불안정한 오차를 보임에 따라 PSDL에 의뢰해 표준선원 Co-60에 대한 공동전리함의  $N_{dw}^{Co-60}$ 를 각각  $2.983 \times 10^8$  Gy/C과  $3.013 \times 10^8$  Gy/C로 얻었으며, SSDL의 값이 PSDL에 비해 0.4%와 -2.8%의 오차를 보였다. PTW 사에서 시행한 SSDL의 보증서에 따르면 표준선원의 교정계수는 PMMA  $0.36 \text{ g/cm}^2$ 의 Buildup Cap을 사용해 평가되었으며 흡수선량교정계수의 불확실도는  $\pm 2.0\%$ 인 것을 확인하였다. 특히 Table 2에서 SSDL이 제공한 1057 전리함의  $N_k$  값이 1055의 값보다 낮은 데 비해, PSDL에서는  $N_{dw}^{Co-60}$ 가 오히려 높게 나타났다.

본 저자들은 동일 제작사의 전리함중  $K_Q$  값을 제시하는 N31003의 전리함이 공동내경과 벽재질 및 두께( $\text{g/cm}^2$ )가 동일하고 공동길이가  $1.65 \text{ cm}$ 로 차이가 있음을 알고 TG-21을 이용하여 산란보정계수인  $A_{wall}$ 을 비교한 결과 소수점 3자리까지 N31003 전리함의  $A_{wall}$ 과 동일하였으며, Table 3과 같이 6 MV, 15 MV X선 에너지의 10 cm 깊이의 선량백분률(%dd(10))에 대한  $K_Q$ 는 각각 0.991과 0.974로 나타났다. 또한 선형가속기의 물흡수선량은 100 MU 조사했을 때의 각 보정계수를 보여주며, isocenter 지점의 출력선량계수(cGy/MU)는 6 MV X선에서 1.014, 15 MV X선에서 1.027을 얻었다.

본 저자들은 선량프로토콜의 적용을 일관성있고 재현 및

관리할 수 있도록 입력자료의 저장으로 데이터베이스화 하였으며, 입력부분과 출력스크린을 Fig. 2와 같이 TG-51의 Worksheet와 동일하게 구성하여 시각적 혼돈을 피하였다.

선형가속기 선택과 광자선에너지 선택, 전위계 및 전리함이 선정되면 등록된  $N_{dw}^{Co-60}$ 가 자동 호출되며, 측정은 물깊이 10 cm에서 측정하도록 유도하며, 입력시 10 cm 깊이의 전리량(nC)이 6 MV X선에서 최대선량의 60~70%이내, 15 MVX선에서는 74~80% 범위를 초과하면 도움말이 나타나 재확인할 수 있게 하였다. 측정점은 SSD법이나 SAD법에 따라 적용 심부선량백분률(%dd(10))의 입력란과 기준조사면( $10 \times 10$ )의 TMR(10,  $10 \times 10$ ) 입력란을 구분해서 나타나게 하여 측정조건의 혼돈을 줄이고자 하였다.

선량보정항은 이온재결합보정을 위해 사용전압과 해당 전압하에서 측정된 전리량으로부터  $P_{ion}$ 을 계산하며, 전위계의 전극을 바꾸어 전리량의 분극효과와  $P_{pol}$ 에 대한 보정을 수행하여, 10 cm 깊이의 물흡수선량을 계산하고, TMR(10,  $10 \times 10$ )을 이용하여 Isocenter의 출력선량계수를 구하도록 구현하였다. 입력된 항과 선량값은 지정 디렉토리에 저장되어 필요시 후향적으로 확인할 수 있게 디자인 하였다.

저자들은 Isocenter의 출력선량계수(cGy/MU)를 결정한 후 우송형 TLD 시료에 300 cGy를 조사하고 반송하여 RPC에

Table 2. Comparison of absorbed dose to water calibration factor ( $N_{dw}^{Co-60}$ ) of SSDL to that of PSDL.  $N_{dw}^{Co-60}$  of SSDL was derived from  $N_k$ .

Chamber type	SN	$N_x$ R/nc	$N_k$ cGy/nC	$T_o$ (°C)	$P_o$ (kPa)	$N_{dw}^{Co-60}$		Discrepancy
						SSDL	PSDL	
TM31010	1055	(31.36)	27.57	22	101.33	29.94	29.83	0.4%
	1057	(30.71)	26.99	22	101.33	29.31	30.13	-2.8%

\*the exposure calibration factor ( $N_x$ ) was derived from  $N_k$  of Co-60 gamma ray.

Table 3. The used value of correction factors for determination of absorbed dose to water at 6 and 15 MV photon beams with a given calibration factor.

Chamber type	$N_{dw}^{Co-60}$ Gy/C	Photon MV	TMR t10	%DD d10x	$K_Q$	$M_{raw}^+$ $10^9$ C	$M_{raw}^-$ $10^9$ C	$P_{pol}$	$M_H$ (400 V)	$M_L$ (200 V)	$P_{ion}$
TM31010	$2.983 \times 10^8$	6 MV	0.788	67.0	0.991	2.601	-2.637	1.007	2.601	2.588	1.005
		15 MV	0.864	77.5	0.974	3.062	-3.104	1.007	3.062	3.056	1.002

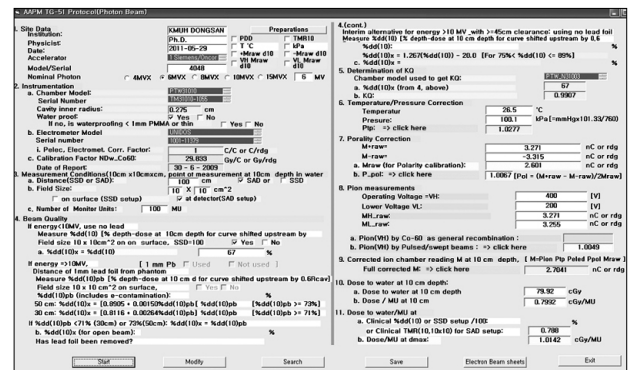


Fig. 2. The screen of worksheet shows for the determination of absorbed dose to water through the TG-51 protocol at given photon energy.

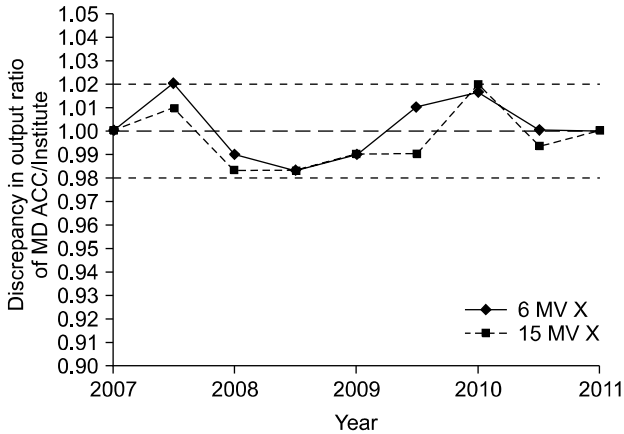


Fig. 3. The dose evaluations of output dose of linear accelerator (Oncor, Siemens, German) verified constancy for 5 years long term from 2007 to 2011. The constancy have shown the  $1.001 \pm 0.013$  for 6 MV and  $0.997 \pm 0.012$  for 15 MV X rays.

서 TLD 선량평가를 받았다. Fig. 3은 2007년부터 선형가속기(Oncor)의 6, 15 MV X선의 출력선량을 모니터한 결과이며, 종축의 평가 값은 RPC평가선량/의뢰기관의 평가선량의 비를 나타내며 1.00보다 큰 경우 의뢰기관의 출력선량계수가 참값보다 작게 적용되어 TLD에 조사된 선량은 크게 되며, 곧 교정계수가 작은 경우 이에 해당된다.

TG-51 프로토콜을 이용한 본원의 5년간 총 9회 평가한 결과 6 MV 광자선에 대해 평균  $1.001 \pm 0.013$ , 15 MV X선에서  $0.997 \pm 0.012$ 의 오차범위내에 측정이 이루어져 왔으며, 오차요인 및 불안정한 원인에는 후향적 점검한 결과 선량평가의 근간이 되는 교정계수의 교차점검도 포함되어야함을 알 수 있었다.

저자들은 TM31010 (S/N 1057) 공동전리함의 후향적 선량평가에서 S/N 1057 전리함을 사용한 경우 선량을 낮게 평가하게 되어 선량모니터링 결과에서 1.00보다 높은 값이 나타났으며, 1055를 사용했을 때는 낮은 값을 보였다(Fig. 3).

### 고 찰

방사선치료는 생물학적 효과를 증강하는 분할치료와 정상장기를 보호하기 위한 제한된 조사면을 기반으로 조사하게 된다. 방사선치료기간은 분할치료를 근거하여 4주내지 6주간 치료하게 되고 처방된 선량이 정확하게 종양에 도달되어야 하며, 방사선치료의 성패에 가장 영향을 주는 요인으로 작용하는 것이 출력선량결정이다.

일찍 Fletcher<sup>1)</sup>는 방사선종양 치료선량의  $\pm 5\%$  범위 이내의 오차일 때 치유확률을 기대할 수 있다고 주장하였으며, IAEA의 ICRU 24<sup>7)</sup>와 AAPM Report 86<sup>8)</sup>에서도 상기 선량범위 이내의 정확성으로 선량을 평가하도록 권장하고 있다. 종양-치료확률이나 최적화된 시간-선량 스케줄 및 방사선생물학적 효과 등의 기준은 선량평가에 포함된 종합적 불확실도가 Tumor-Volume과 Response를 측정할 때의 오차보다는 상당히 작아야 한다고 발표된 바 있다.<sup>9)</sup>

표적병소에 처방선량의 오차가 5% 이내 있기 위해서는 표적에 도달하는 선량의 결정에 영향을 주는 단계별 오차는 이보다 훨씬 작아야 한다. 이 성능범위를 유지하기 위한 단계로는 선량계획 시뮬레이션, 종양일체형 조사면크기, 장기조직의 불균질성 및 경계선량계산, 셋업오차 등이 있으며, 이외에도 선형가속기의 출력은 방사성물질의 출력선량과 달리 기온, 기압, 장비의 온도 등 선량모니터링에 영향을 주는 변화와 공급전원, 전파의 펄스폭과 높이, 인젝터의 타이밍 등 가속전자류의 최적화변동과 전자회로장의 변화에 의한 선량분포의 비균등성 유발 등 장비의 안정성 변화에 영향을 주는 요인들과 종합되어 오차로 나타나게 된다. AAPM Report 142에서는 Report 40 (1994) 이후 Multi-leaf collimator (MLC) 기기오차와 방사선세기조절치료의 연속된 분할조사면의 선량오차 등 MLC를 이용한 새로운 치료기술법의 확산은 출력선량의 정확성을 유지할 수 있도록 매일 출력선량을 모니터하고 3%의 오차범위에 있는 지 확인하고, 매월 1회 이상 2% 이내의 오차범위에서 교정되어야 한다고 밝히고 있다.<sup>10,11)</sup>

표적선량을 결정하는 모든 치료계획에 포함되는 출력선량의 오차는 전 선량계획에 영향을 주게 되므로 정확한 출력선량을 결정하도록 항상 강조 되고 있다. 출력선량계수는 선형가속기 자체의 전리함에서 제시하는 모니터단위 (Monitor Unit, MU)에 대한 절대선량계에 교정한 외부 전리함을 이용한 조직흡수선량의 비로 결정되며, 외부 공동전리함은 표준선원을 조사하여 제공되는 물흡수선량교정계수  $N_{dw}^{Co-60}$ 를 사용하는 TG-51 프로토콜은 종전의 TG-21에 비해 선량평가 단계와 오차를 크게 줄일 수 있게 되었다.

저자들은 최신 프로토콜이 발표되기 전부터 TG-21 프로토콜을 이용하여 TLD 우송을 통해 미국내 300개 기관에서 사용하는 800여 대의 선형가속기의 출력선량을 모니터해 온 RPC에 의뢰하여 본원 선형가속기의 출력선량을 비교 평가하였으며, 800여 대의 평균선량비가  $0.999 \pm 0.027$ 임을 볼 때 TG-51을 이용한 본원의 최근 성적은 우수한 편이라고 생각된다.<sup>12)</sup> 그러나 Fig. 3의 5년간 평가결과에 따르면,

선량프로토콜을 바꾼 초기와 선량불안정시에 오차가 비교적 크게 나타났으며, 선량평가 절차를 재현하였으나 원인을 찾지 못하여 SSDL에서 제공하는  $N_k$  외에 실험에 사용한 전위계와 공동전리함을 한국표준과학연구원에 의뢰하여 물흡수선량교정계수를 받아 비교한 결과 SSDL의 값이 PSDL에 비해 0.4%와 -2.8 %의 오차를 각각 보여 한 동안 측정평가의 불안정성을 갖게 된 원인이 되었다.

본 연구는 장기간 선량평가의 안정성을 볼 수 있는 점에서 의의가 더욱 크다고 생각한다. 전산화를 통해 데이터베이스화함으로써 혼돈되기 쉬운 보정항의 적용을 유도할 수 있게 되었다.

선량해석 오차를  $\pm 1\sim 2\%$  이내 유지하기 위해서는 수련된 방사선물리학적 지식과 오차 요인이 되는 변수의 셋업 오차를 줄이는 데 있다. TG-21과 TG-51 프로토콜을 비교한 결과 미국과 캐나다에서 평가한 흡수선량의 결과가 1.1%의 오차를 보였다고 발표한 바 있다.<sup>13)</sup> 선량결정중 가장 큰 불확실도는 선량프로토콜에서 제시되지 않는 전리함을 구매해 사용하는 경우인데 선량프로토콜 발표 이후 개발된 전리함이거나, 스캐너에 장착된 전리함 등 제작사가 밝히지 않은 자료에 의존하는 경우 유의할 필요가 있다.

본원의 선형가속기 출력선량은 해마다 RPC의 TLD 우수선량비교 프로그램에 참여하여 장기간 선량오차범위를  $\pm 2\%$  이내 유지하고 있음을 알 수 있으며, 선량평가 안정과 신뢰를 바탕으로 향후 지속적으로 1.0% 이내의 오차범위에 평가하는 것을 목표로 하고 있다.

RPC의 TLD의 선량평가서에는  $\pm 5\%$  범위를 벗어나지 않을 것을 권장하고 있으나 치료선량에 미칠 오차의 누적을 감안하여  $\pm 2\%$ 를 넘지 않아야 한다. 선량평가 오차를 줄이는 방법 중 강조되는 사항은 가능한 프로토콜에서 제시하는 공동기체전리함을 준비하는 것이 중요하며, 전위계는 150~400 V 범위에서 높은 전압과 낮은 전압에 의한 전리량을 비교할 수 있어야 하고, 전리함의 전극의 변환이 가능해서 분극효과에 의한 평균전리전류를 얻을 수 있는 전위계가 필수적이다.

선량평가는 미세한 오차가 누적되어 예상하지 못한 오차를 일으켜 종양치료결과에 악영향을 초래할 수 있으므로 흡수선량변환식의 항마다 엄격히 정의에 입각한 해석이 필요하다. 따라서 출력선량프로토콜의 전산화와 외부 선량평가기관의 선량모니터프로그램에 지속적 참여와 개선된 선량평가프로토콜의 응용으로 보다 안정된 선량평가를 할 수 있을 것으로 생각된다.

## 결 론

공동기체전리함 TM31010의 표준선원에 대한 물흡수선량교정계수와 TG-51 선량프로토콜을 사용하여 임상 선형가속기 출력선량을 결정하는 전과정을 전산화하여 실험 오차를 최소화하고 변수를 데이터베이스화함으로써 혼돈과 오차를 줄이도록 하였다.

본 저자들은 이 연구를 통해서 출력선량의 결정에 중요한 변수인 물흡수선량교정계수에 대해 SSDL에서  $\pm 2.0\%$ 의 불확실도가 있음을 알고 보다 정확한 교정계수를 얻기 위해 일차교정기관에 의뢰하였으며 RPC로부터 비교적 안정된 평가를 받게 되었다.

임의의 종양치료선량을 열형광선량계에 조사하여 선량 모니터링을 통해 선형가속기의 선량을 신뢰성 있게 평가하는 지 모니터링하였다. TG-51 프로토콜을 사용해 RPC의 우수 열형광선량계에 임의의 선량을 조사하여 선형가속기의 6 MV X선과 15 MV X선에 대한 지난 5년간 출력선량을 평가비교한 결과 각각  $1.001 \pm 0.013$ 과  $0.997 \pm 0.012$ 를 얻어 표준오차가  $\pm 1.3\%$  이내 있어 신뢰성 있는 선량평가가 이루어졌음을 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. Fletcher GH: *Textbook of radiotherapy*, 3rd ed. Lea and Febiger, Philadelphia. (1981), pp. 37
2. AAPM Report No.86: Quality assurance for clinical trials. A primer for physicists. Madison: Medical Physics Publishing 1-63 (2004)
3. ICRU Report No.14: *Radiation dosimetry: X-Rays and Gamma Rays with Maximum Photon Energies Between 0.6 and 50 MeV*. ICRU, Washington, D.C. 1-36 (1969)
4. Johns HE, Cunningham JR: *The Physics of radiology*, 4th ed, Thomas, Springfield, Illinois, USA, Charles C (1977), pp. 272- 310
5. Task Group 21: A protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams. Med Phys 10:741-771 (1983)
6. Almond PR, Biggs PJ, Coursey BM, et al: AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams. Med Phys 26:1847-1870 (1999)
7. ICRU Report No.24: Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures. Washington, D.C: ICRU 1-55 (1976)
8. AAPM Report No.86: Quality assurance for clinical trials: a primer for physicists. Madison: Medical Physics Publishing 1-63

- (2004)
9. White GA Hr, Gibbs GL: Comments on "A protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams". Med Phys 12:114 (1985)
  10. Task Group 142 Report: Quality assurance of medical accelerators Med Phys 36:4197-4212 (2009)
  11. Khan FM: *The physics of radiation therapy*. 4th ed, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia. Baltimore. New York. London. Buenos Aires. Sydney. Tokyo, (2009), pp. 375-403
  12. Kirby TH, Hanson WF, Gastorf RJ, Chu CH, Shalek RJ: Mailable TLD system for photon and electron therapy beams. Int J Radiation Oncology Biol Phys 12:261-265 (1986)
  13. Ding GX, Cygler JE, Kwok CB: Clinical reference dosimetry: Comparison between AAPM TG-21 and TG-51 protocols. Med Phys 27:1217-1225 (2000)

## Evaluation of the Output Dose of a Linear Accelerator Photon Beams by Using the Ionization Chamber TM31010 Series through TG-51 Protocol to Postal Monitoring Output of RPC for 5 Years

Tae-Jin Choi\*, Ok-Bae Kim †

Departments of \*Medical Engineering and Physics, †Radiation Oncology, Keimyung University School of Medicine, Daegu, Korea

This study is to keep the accuracy and stability of the output dose evaluations for linear accelerator photon beams by using the air ionization chambers (TM31010, 0.125 cc, PTW) through the Task Group 51 protocol. The absorbed dose to water calibration factor  $N_{dw}^{Co-60}$  was delivered from the air kerma calibration factor  $N_k$  which was provided from manufacture through SSDL calibration for determination of output factor. The ionization chamber of TM31010 series was reviewed the calibration factor and other parameters for reduce the uncertainty within  $\pm 2\%$  discrepancy and we found the supplied  $N_{dw}^{Co-60}$  which was derived from  $N_k$  has shown a  $-2.8\%$  uncertainty compare to that of PSDL. The authors provided the program to perform the output dosimetry with TG-51 protocol as it is composed same screen of TG-51 worksheets. The evaluated dose by determination of output factor delivered to postal TLD block for comparison the output dose to that of MDACC (RPC) in postal monitoring program. The results have shown the  $1.001 \pm 0.013$  for 6 MV and  $0.997 \pm 0.012$  discrepancy for 15 MV X rays for 5 years followed. This study shows the evaluated outputs for linear accelerate photon beams are very close to that of international output monitor with small discrepancy of  $\pm 1.3\%$  with high reliability and showing the gradually stability after 2010.

**Key Words:** TG-51, Absorbed dose to water,  $N_{dw}^{Co-60}$ , Output factor, TLD monitor